

Docket No.: 2336-184

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of

KIM, Jong Sam *et al.*

U.S. Patent Application No. -----

Group Art Unit: -----

Filed: June 26, 2003

Examiner: -----

For: MICRO-ACTUATOR, VARIABLE OPTICAL ATTENUATOR PROVIDED WITH  
MICRO-ACTUATOR AND METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME

**CLAIM OF PRIORITY AND**  
**TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicant hereby claims the priority of *Korean Patent Application No. 2003-30927, filed May 15, 2003* in the present application. The certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

**LOWE HAUPTMAN GILMAN & BERNER, LLP**

Benjamin J. Hauptman  
Registration No. 29,310

1700 Diagonal Road, Suite 310  
Alexandria, Virginia 22314  
(703) 684-1111 BJH/klb  
Facsimile: (703) 518-5499  
**Date: June 26, 2003**



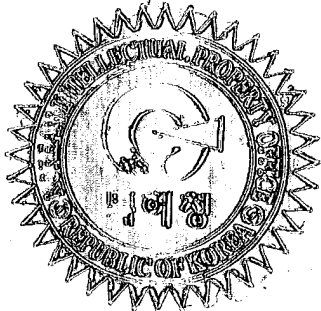
별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto  
is a true copy from the records of the Korean Intellectual  
Property Office.

출원 번호 : 10-2003-0030927  
Application Number

출원 년 월 일 : 2003년 05월 15일  
Date of Application MAY 15, 2003

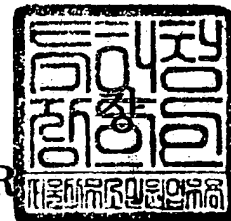
출원 인 : 삼성전기주식회사  
Applicant(s) SAMSUNG ELECTRO-MECHANICS CO., LTD.



2003      년      06      월      13      일

특      허      청

COMMISSIONER



## 【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0001
【제출일자】	2003.05.15
【국제특허분류】	H02N 1/00
【발명의 명칭】	마이크로 액츄에이터와, 이를 구비한 가변 광감쇄기 및 그 제조방법
【발명의 영문명칭】	MICRO-ACTUATOR, VARIABLE OPTICAL ATTENUATOR AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME
【출원인】	
【명칭】	삼성전기 주식회사
【출원인코드】	1-1998-001806-4
【대리인】	
【성명】	손원
【대리인코드】	9-1998-000281-5
【포괄위임등록번호】	2002-047982-8
【대리인】	
【성명】	노세호
【대리인코드】	9-2001-000043-1
【포괄위임등록번호】	2002-047988-1
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김종삼
【성명의 영문표기】	KIM, Jong Sam
【주민등록번호】	720820-1396518
【우편번호】	442-746
【주소】	경기도 수원시 팔달구 영통동 황골마을한국아파트 213-805
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	이정현
【성명의 영문표기】	LEE, Jung Hyun
【주민등록번호】	690425-1914614

1020030030927

출력 일자: 2003/6/14

【우편번호】	442-374
【주소】	경기도 수원시 팔달구 매탄4동 삼성3차아파트 12동 309호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	홍윤식
【성명의 영문표기】	HONG,Yoon Shik
【주민등록번호】	700303-1047519
【우편번호】	463-776
【주소】	경기도 성남시 분당구 서현동 시범단지 한양아파트 301동 307호
【국적】	KR
【심사청구】	청구
【취지】	특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 손원 (인) 대리인 노세호 (인)
【수수료】	
【기본출원료】	20 면 29,000 원
【가산출원료】	9 면 9,000 원
【우선권주장료】	0 건 0 원
【심사청구료】	16 항 621,000 원
【합계】	659,000 원
【첨부서류】	1. 요약서·명세서(도면)_1통

## 【요약서】

## 【요약】

본 발명은, 마이크로 액츄에이터와, 이를 구비한 가변 광감쇄기 및 제조방법에 관한 것이다.

본 발명은, 평탄한 상면을 갖는 기판과, 상기 기판 상면에 서로 광축이 일치되도록 정렬된 광송수신단과, 상기 기판 상에 배치되어, 상기 광축에 대해 수직방향으로 이동 가능하도록 형성된 제1 빔살부를 구비한 이동전극부와, 상기 기판 상에 고정되어, 상기 제1 빔살부와 서로 맞물린 구조를 갖는 제2 빔살부를 포함한 고정전극부와, 상기 제1 빔살부에 전기적으로 연결되어, 상기 제1 빔살부의 이동에 따라 광송수신단 사이의 소정의 감쇄위치로 이동가능한 광차단막을 포함하며, 상기 제1 빔살부 및 제2 빔살부의 대향하는 측면 중 적어도 일면에 3이상의 유전율을 갖는 유전체막이 형성된 것을 특징으로 하는 MEMS 가변 광감쇄기를 제공한다. 또한, 본 발명은 전압대비 구동력을 증가시킬 수 있는 가변 광감쇄기의 제조방법과 마이크로 액츄에이터를 제공한다.

본 발명에 따르면, 이동전극부와 고정전극부의 빔살전극부분 사이의 정전용량을 증가시켜 전압 대비 구동력을 향상시킬 수 있다. 따라서, 광감쇄량의 제어 신호에 대한 응답속도를 향상시킬 뿐만 아니라, 전력소모를 최소화시킬 수 있으므로, 가변 광감쇄기의 제어회로를 보다 간소하게 구현할 수 있다.

## 【대표도】

도 3

【색인어】

마이크로 액츄에이터(micro actuator), 가변 광감쇄기(variable optical attenuator), 유전  
체막(dielectric material film)

## 【명세서】

## 【발명의 명칭】

마이크로 액츄에이터와, 이를 구비한 가변 광감쇄기 및 그 제조방법{MICRO-ACTUATOR, VARIABLE OPTICAL ATTENUATOR AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME}

## 【도면의 간단한 설명】

도1은 종래의 MEMS 가변 광감쇄기를 나타내는 사시도이다.

도2a 및 도2b는 종래의 마이크로 액츄에이터의 작동을 설명하기 위한 개략 평면도이다.

도3은 본 발명에 따른 MEMS 가변 광감쇄기를 나타내는 사시도이다.

도4a는 본 발명에 따른 마이크로 액츄에이터의 부분 평면도이며, 도4b는 마이크로 액츄에이터의 일부에 대한 등가회로도이다.

도5a 내지 5f는 본 발명에 따른 MEMS 가변 광감쇄기의 제조방법을 설명하기 위한 공정 단면도이다.

## &lt;도면의 주요부분에 대한 부호설명&gt;

100: 기판      112: 산화물층

115a, 115b: 광송수신단    120a, 120b: 고정전극부

121a, 121b: 제1 빗살부    125a, 125b: 구동전극

130: 이동전극부    131a, 131b: 제2 빗살부

135: 접지전극    137: 탄성체

140: 광차단막    150: 가변 광감쇄기

**【발명의 상세한 설명】****【발명의 목적】****【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】**

- <13>      본 발명은 마이크로 전자 기계 시스템(Micro Electro Mechanical System: MEMS)에 관한 것으로, 보다 상세하게는 추가적인 유전체막을 이용하여 일정한 구동전압에서 보다 높은 구동력을 보장할 수 있는 MEMS 광감쇄기에 관한 것이다.
- <14>      일반적으로, 마이크로 액츄에이터는 반도체 박막 기술을 이용하여 제조되는 MEMS 구조체로서, 광학소자 또는 자기디스크 등의 마이크로 구조물을 구동시켜 일정한 이동변위를 제공하는데 사용된다.
- <15>      상기 마이크로 액츄에이터는 실리콘 기판에 대향하도록 설치된 고정전극과 이동전극을 포함한다. 통상적으로, 상기 고정전극과 이동전극은 서로 맞물린 콤(interdigitated comb)구조로 이루어지며, 상기 고정전극의 빗살부는 상기 실리콘 기판 상에 고정된 반면에, 상기 이동전극의 빗살부는 상기 실리콘 기판 상에 떠 있는 상태로 스프링과 같은 탄성체에 의해 지지된다. 소정의 구동전압이 인가되면, 상기 구동전극과 이동전극 간에 발생하는 정전용량에 의해 이동전극의 빗살부가 고정전극의 빗살부측을 향해 이동될 수 있다.
- <16>      이와 같은 마이크로 액츄에이터 구조가 응용된 대표적인 부품으로서, 가변 광감쇄기(variable optical attenuator: VOA)가 있다. 상기 가변 광감쇄기는 광송신단으로부터



광수신단으로 향하는 광량을 변화시키기 위한 광학부품을 말한다. 여기서, 마이크로 액츄에이터는 인가되는 전압에 따라 이동전극에 연결된 광차단막을 광송신단과 광수신단 사이의 원하는 감쇄위치에 배치시키는 역할을 한다.

<17> 도1은 종래의 마이크로 액츄에이터를 구비한 가변 광감쇄기를 나타내는 사시도이다

<18> 도1을 참조하면, MEMS 가변 광감쇄기(50)는, 광송신단(15a)과 광수신단(15b)이 정렬된 기판(10)과, 고정전극부(20a, 20b) 및 이동전극부(30)을 이루어진 마이크로 액츄에이터와, 상기 이동전극부(30)에 연결된 광차단막(40)으로 이루어진다. 상기 이동전극부(30)는, 상기 제1 빔살부(31)와, 상기 기판(10) 상에 고정된 접지전극(35)과, 상기 제1 빔살부(31)와 상기 접지전극(35)을 연결하는 탄성체(37)를 포함하며, 상기 고정전극부(20a, 20b)는 각각 상기 제2 빔살부(21a, 21b)와, 상기 제2 빔살부(21a, 21b)와 전기적으로 연결된 구동전극(25a, 25b)을 포함한다. 상기 제1 및 제2 빔살부(21a, 21b 및 31)는 서로 맞물린 구조로 배치된다.

<19> 이러한 가변 광감쇄기(50)는 구동전극(25a, 25b)에 전기적 제어신호가 입력되지 않은 상태에서는 제1 빔살부(31)와 제2 빔살부(21a, 21b)가 소정의 간격으로 이격되어 위치하지만, 구동전극(25a, 25b)에 전기적 제어신호가 입력되면, 고정전극부(20)와 이동전극부(30) 사이에 전위차가 형성되고, 상기 제1 빔살부(31)와 제2 빔살부(21a, 21b) 사이에 정전력이 형성된다.

<20> 이러한 원리를 이용한 마이크로 액츄에이터의 작동상태를 도2a 및 도2b에 도시하였다. 도2a와 같이, 전압이 인가되지 않은 상태에서는, 제1 빗살부(81)와 제2 빗살부(71)가 소정의 간격으로 이격되어 위치하다가, 인가된 전압으로 형성된 정전력에 의해, 도2b와 같이 제1 빗살부(81)가 제2 빗살부(71)로 이동되어, 일정한 변위( $\delta$ )를 갖는다. 다시 전기적 제어신호가 해제되거나, 그 전압이 낮아지면, 상기 제1 빗살부(81)는 그와 연결된 탄성체(미도시)의 탄성력에 의해 다시 원래 위치를 향해 이동될 수 있다. 이와 같이, 상기 제1 빗살부(81)에 연결된 광차단막(90)은 상기 전기적 제어신호에 해당하는 구동전압에 따라 원하는 감쇄위치로 이동할 수 있다.

<21> 마이크로 액츄에이터에서, 일정한 구동전압이 입력되는 경우에, 상기 제1 빗살부(81)와 제2 빗살부(71) 사이에서 발생하는 정전력, 즉 제1 빗살부(81)에 대한 구동력이 크면 클수록, 보다 빠른 응답속도를 얻을 수 있으며, 낮은 구동전압에서도 작동시킬 수 있는 잇점이 있다. 또한, 이러한 저전력형 가변 광감쇄기는 간소한 제어회로도 구현될 수 있다는 추가적인 잇점을 제공한다.

<22> 이를 위해서, 종래에는 제1 빗살부와 제2 빗살부의 간격을 보다 조밀하게 구성하고자 하였으나, 제1 및 제2 빗살부(81,71)의 간격이 조밀한 경우에는, 도2b에 도시된 바와 같이, 미세한 빗살 끝부분에서 휨현상(torsion)이 심하게 발생되어, 인접한 다른 빗살에 접촉되는 원하지 않는 단락을 야기할 수 있다. 결국, 전극의 빗살 간격을 감소시키는 방법은 이러한 단락발생을 방지하는 범위에서 설계해야 하므로, 효과적인 구동력 향상 방안으로서는 문제가 있다.

<23> 따라서, 당 기술분야에서는, 원하지 않는 단락발생을 방지하는 동시에, 마이크로 액츄에이터의 전압 대비 구동력을 향상시킬 수 있는 새로운 MEMS 가변 광감쇄기가 요구되고 있다.

**【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】**

<24> 본 발명은 상기한 문제를 해결하기 위해서 안출된 것으로서, 그 목적은 마이크로 액츄에이터의 빗살전극 사이의 대향하는 측면에 유전체막을 형성함으로써 구동력을 향상시킬 수 있는 MEMS 가변광감쇄기 및 그 제조방법을 제공하는데 있다.

<25> 본 발명의 다른 목적은, 서로 맞물린 빗살전극 사이의 대향하는 측면에 유전체막이 형성된 마이크로 액츄에이터를 제공하는데 있다.

**【발명의 구성 및 작용】**

<26> 본 발명은, 평탄한 상면을 갖는 기판과, 상기 기판 상면에 서로 광축이 일치되도록 정렬된 광송신단 및 광수신단과, 상기 기판 상에 배치되어, 상기 광축에 대해 수직방향으로 이동가능하도록 형성된 제1 빗살부를 구비한 이동전극부와, 상기 기판 상에 고정되어, 상기 제1 빗살부와 서로 맞물린 구조를 갖는 제2 빗살부를 포함한 고정전극부와, 상기 제1 빗살부에 전기적으로 연결되어, 상기 제1 빗살부의 이동에 따라 광송수신단 사이의 소정의 감쇄위치로 이동가능한 광차단막을 포함하며, 상기 제1 빗살부 및 제2 빗살부의 대향하는 측면 중 적어도 일면에 유전율 3이상을 갖는 유전체막이 형성된 MEMS 가변 광감쇄기를 제공한다.

- <27> 본 발명의 일 실시형태에서는, 상기 유전체막은 제1 및 제2 빔살부의 대향하는 양면 모두에 형성될 수 있다.
- <28> 바람직하게는, 상기 유전체막은 약 60% 이상의 스텝 커버리지(step coverage)로 증착될 수 있는 물질로 형성되며, 유전체막으로 사용되는 물질은  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$  및 TaON으로 구성된 그룹으로부터 선택될 수 있다.
- <29> 또한, 상기 유전체막은 적어도 전기적 제어신호에 해당하는 전압에 대해 절연성을 가질 수 있는 두께를 갖는 것이 바람직하며, 상기 예시된 유전체막은 적어도 약 10nm 두께 이상일 때에, 충분한 절연성을 보장할 수 있다. 스텝커버리지와 유전율을 고려할 때에, 상기 유전체막은 적어도 약 10nm 두께의  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  막인 것이 가장 바람직하다.
- <30> 또한, 본 발명의 구체적인 실시형태에서는, 상기 이동전극부를, 상기 제1 빔살부와, 상기 기판 상에 고정된 접지전극과, 상기 제1 빔살부와 상기 접지전극을 전기적으로 연결하는 탄성체로 구성할 수 있으며, 상기 고정전극부를, 상기 제2 빔살부와, 상기 제2 빔살부와 전기적으로 연결되며 상기 전기적 제어신호가 수신되는 구동전극로 구성할 수 있다.

<31>        나아가, 본 발명은, 새로운 MEMS 가변 광감쇄기의 제조방법을 제공한다. 상기 방법은, 상부 및 하부 실리콘층과 그 사이에 형성된 절연층을 포함한 SOI기판을 마련하는 단계와, 상기 상부 실리콘층을 선택적 에칭을 하여, 제1 빔살부를 구비한 이동전극부와, 상기 제1 빔살부에 연결된 광차단막과, 상기 제1 빔살부와 서로 맞물린 제2 빔살부를 포함한 고정전극부를 형성하기 위한 마이크로 구조물을 형성하는 단계와, 상기 절연층 중 적어도 상기 광차단막과 제1 빔살부에 해당하는 마이크로 구조물의 하부에 위치한 부분을 제거하는 단계와, 적어도 상기 이동전극부와 고정전극부에 해당하는 마이크로 구조물의 표면에 금속막을 도포하여 이동전극부 및 고정전극부를 형성하는 단계와, 상기 제1 빔살부와 상기 제2 빔살부의 대향하는 측면 중 적어도 일면에 유전체막을 형성하는 단계를 포함한다.

<32>        본 발명의 일 실시형태에서는, 상기 유전체막을 형성하는 단계를, 상기 마이크로 구조물의 상면 및 측면에 유전체막을 형성하는 단계와, 상기 마이크로 구조물의 상면에 형성된 유전체막을 제거하는 단계로 구현할 수도 있다.

<33>        또한, 본 발명은, 제1 빔살부를 구비한 이동전극부와 상기 제1 빔살부와 서로 맞물린 제2 빔살부를 갖는 고정전극부를 갖는 마이크로 액츄에이터에서, 상기 고정부재와 상기 이동부재의 대향하는 측면 중 적어도 일면에 유전율 3 이상을 갖는 유전체막이 형성된 마이크로 액츄에이터를 제공한다.

- <34> 이하, 첨부된 도면을 참조하여, 본 발명을 상세히 설명하기로 한다.
- <35> 도3은 본 발명에 따른 MEMS 가변 광감쇄기를 나타내는 사시도이다.
- <36> 도3을 참조하면, MEMS 가변 광감쇄기(100)는, 광송신단(115a)과 광수신단(115b)이 정렬된 기판(110)과, 고정전극부(120a, 120b) 및 이동전극부(130)을 이루어진 마이크로 액츄에이터와, 상기 이동전극부(130)에 연결된 광차단막(140)으로 구성된다.
- <37> 상기 이동전극부(130)는, 상기 제1 빔살부(131)와, 상기 기판(110) 상에 고정된 접지전극(135)과, 상기 제1 빔살부(131)와 상기 접지전극(135)을 연결하는 탄성체(137)를 포함할 수 있다. 또한, 상기 고정전극부(120a, 120b)는 각각 상기 제2 빔살부(121a, 121b)와, 상기 제2 빔살부(121a, 121b)와 전기적으로 연결된 구동전극(125a, 125b)을 포함할 수 있다. 또한, 상기 제1 및 제2 빔살부(121a, 121b 및 131)는 통상의 빔살전극과 같이 서로 맞물린 구조로 배치된다.
- <38> 이러한 마이크로 구조물은 대개 기판(110)과 동일한 실리콘과 같은 물질로 이루어질 수 있으며, 상기 마이크로 액츄에이터의 구조는 예시에 불과하며, 당업자에게 자명한 바와 같이 다양한 형태로 변형될 수 있다.
- <39> 본 실시형태에 따른 가변 광감쇄기(100)의 제1 빔살부(131)와 제2 빔살부(121a, 121b)는 서로 대향하는 양측면에 형성된 유전체막(145)을 갖는다. 본 발명자는, 제1 빔살부(131)와 제2 빔살부(121a, 121b) 사이에서 작용하는 구동력이 그 사이에 발생되는 정전용량에 의존한다는 사실에 새롭게 인식하여, 빔살부 사이의 유전율에 높여 구동력을 증가시킬 수 있다는 사실을 확인하였다.

<40> 본 발명은 이러한 원리를 기초한 것으로서, 마이크로 액츄에이터의 구동력을 증가시키기 위해서, 비교적 높은 유전율을 갖는 유전체층을 제1 빗살부 및 제2 빗살부의 대향하는 면에 형성하였다. 상기 유전체층은 그 사이 간격에 정전용량을 결정했던 공기보다 높은 정전용량으로 작용할 수 있다. 이러한 유전체막(145)은 본 실시형태와 같이 제1 빗살부(131)와 제2 빗살부(121a, 121b) 양측면에 모두 형성될 수 있으나, 제1 빗살부(131) 또는 제2 빗살부(121a, 121b)에 선택적으로 대향하는 일 측면에만 형성하여도 본 발명에서 요구하는 효과를 얻을 수 있다.

<41> 본 발명에 따른 유전체막(145)에 사용되는 물질은 정전용량을 증가시키기 위한 충분한 유전율을 갖는 물질이 바람직하다. 또한, 상기 유전막(145)은 두 빗살부 사이에, 즉 대향하는 측면 상에 형성되어야 하므로, 증착공정에서 유전물질이 빗살부의 측면에 적절하게 형성되는 것이 중요하다. 따라서, 증착된 막의 스텝 커버리지 특성이 우수한 물질을 사용하는 것이 바람직하다.

<42> 하기 표1은 본 발명에서 바람직하게 사용될 수 있는 특성에 따른 유전물질의 평가 결과를 나타낸다.

<43>

【표 1】

유전물질 종류	유전율	스텝커버리지평가	결과
SiO <sub>2</sub>	3.9	0	0
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	6~7	0	0
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	25	0	0
TiO <sub>2</sub>	34	0	0
TaON	30~40	0	0
Ba(Zr,Ti)O <sub>3</sub>	145	X	X
(Ba,Sr)TiO <sub>3</sub>	>200	X	X
PLZT	>900	X	X
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.34	X	X

<44> 상기 표1에서, 각 물질의 스텝 커버리지(%)는, 식

<45> 
$$\text{스텝커버리지(\%)} = \frac{\text{측면하단에 증착된막의께}}{\text{상면에 증착된막의두께}} \times 100$$

<46> 을 이용하여 계산하였으며, 그 계산된 결과값이 60% 이상인 경우에 한하여 우수(0)로 평가하였다. 본 발명에서는, 빗살전극의 측면부분에 유전체막을 형성하는 것이 중요하므로, 상기 스텝 커버리지 특성이 중요한 평가가 될 수 있다. 또한, 앞서 설명한 바와 같이, 본 발명의 유전체막으로 사용되는 물질은 약 3 이상의 유전율을 갖는 것이 바람직하다.

<47> 그 결과, 상기 표1에 나타난 바와 같이, 본 발명에서 SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub> 또는 TaON을 사용하는 것이 바람직하며, 우수한 스텝 커버리지를 보장하면서도 더 높은 유전율을 갖는 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub> 또는 TaON을 사용하는 것이 보다 바람직할 것이다.



- <48> 또한, 본 발명에서 사용되는 유전체막은 절연성을 가지므로, 높은 구동력에 의해 휨현상이 발생하더라도, 전극 간에 원하지 않는 단락을 방지할 수 있다. 이를 위해서, 상기 유전체막은 구동전압에 대해 충분한 절연성을 가질 수 있는 적절한 두께로 형성하는 것이 바람직하다. 상기 열거된 유전체물질의 경우에는, 적어도 10nm의 두께로 유전체막을 형성함으로써 원하지 않는 단락을 방지할 수 있는 효과도 기대할 수 있다.
- <49> 본 발명에 따른 가변 광감쇄기의 마이크로 액츄에이터에서, 이동전극부의 제1 빗살부와 고정전극부의 제2 빗살부 사이에서의 구동력 증가를 도4a 및 4b를 통해 보다 상세히 설명한다.
- <50> 도4a는 본 발명에 따른 마이크로 액츄에이터 부분을 나타내는 단면도이며, 도4b는 상기 두 빗살부에 인접한 두 전극지에서 발생하는 정전용량에 대한 등가회로도이다.
- <51> 도4a를 참조하면, 이동전극부의 제1 빗살부(181)와 고정전극부의 제2 빗살부(171)은 서로 대향하는 측면에 형성된 유전체막(195)을 구비하며, 소정의 간격( $d_0$ )으로 분리되어 위치한다. 상기 유전체막은 소정의 두께( $d_t$ )를 갖는  $Ta_2O_5$ 막일 수 있다.
- <52> 상기 유전체막이 형성된 빗살부 사이의 구동력 증가를 알아보기 위해서, 도4a의 II로 표시된 두 전극지 사이의 정전용량에 대한 등가회로도를 도4b에 도시하였다.
- <53> 도4a의 일부(II)에 해당하는 등가회로도는, 도4b과 같이, 3개의 정전용량( $C_1, C_2, C_3$ )이 직렬로 연결된 구조로 나타낼 수 있으며, 두 개의 정전용량( $C_1, C_3$ )은 유전체막(195)에 의한 것이며, 다른 하나의 정전용량( $C_2$ )은 그 사이의 간격(공기)에

의한 값이다.  $Ta_2O_5$ 의 유전율은 25이므로, 각 정전용량( $C_1, C_2, C_3$ )는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

&lt;54&gt;

$$C_1 = C_3 = K_{Ta_2O_5} \frac{\epsilon_0 A}{d_t} = 25 K_{Air} \frac{\epsilon_0 A}{d_t}$$

&lt;55&gt;

$$C_2 = K_{Air} \frac{\epsilon_0 A}{d_0 - 2d_t}$$

&lt;56&gt;

여기서,  $\epsilon$ 은 진공유전율이며,  $A$ 는 대향하는 면적이며,  $K_{Air}$ 와  $K_{Ta_2O_5}$ 는 각각 공기 와  $Ta_2O_5$ 의 유전율이다.

&lt;57&gt;

따라서, 총 정전용량( $C_T$ )은,

&lt;58&gt;

$$C_T = \frac{25 K_{Air} \epsilon_0 A}{25 d_0 - 48 d_t}$$

&lt;59&gt;

로 나타낼 수 있다.

&lt;60&gt;

여기서, 유전체막(195)의 두께( $d_t$ )는 0보다는 크며,  $d_0/2$ 보다는 작으며, 유전체막 (195)이 없는 동일한 간격의 다른 전극지 사이의 정전용량( $C_0$ )는,

&lt;61&gt;

$$C_0 = \frac{K_{Air} \epsilon_0 A}{d_0}$$

&lt;62&gt;

로 나타낼 수 있으므로, 본 발명에 따른 마이크로 액츄에이터에서 발생하는  $C_T$ 의 범위는,  $0 < C_T < 25C_0$ 로 정의할 수 있다.

&lt;63&gt;

또한, 마이크로 액츄에이터의 구동력( $F$ )은, 빗살부의 전극지 수와 두께를 각각  $N_c$  와  $t$ 라 하고, 정전용량과 구동전압을 각각  $C$ 와  $V$ 라 할 때에,

&lt;64&gt;

$$F = \frac{N_c I C}{V^2}$$

&lt;65&gt;

로 나타낼 수 있다.

&lt;66&gt;

따라서, 빗살(또는 전극지)의 수와 폭 및 구동전압을 동일한 조건으로 할 때에, 본 발명에 따른 마이크로 액츄에이터는 유전체막에 의해 구동력을 25배에 근접한 수준까지 증가시킬 수 있다.

&lt;67&gt;

예를 들어, 두 빗살부의 전극지 간격이  $3\mu\text{m}$ 이고, 각 빗살부의 전극지 측면에 형성된 유전체막의 두께가  $0.5\mu\text{m}$ 일 때, 총 정전용량은 약 3배로 증가하는 것을 알 수 있다.

&lt;68&gt;

이와 같이, 본 발명에 따른 마이크로 액츄에이터는 동일한 구동전압에서 보다 큰 구동력을 확보할 수 있으므로, 보다 빠른 응답속도를 얻을 수 있으며, 동일한 성능을 구현하는데 있어서 보다 적은 구동전압을 사용할 수 있으므로, 전력소모를 감소시킬 뿐만 아니라, 제어회로구성도 보다 용이하게 할 수 있다.

&lt;69&gt;

도5a 내지 5f는 본 발명에 따른 MEMS 가변 광감쇄기의 제조방법을 설명하기 위한 공정 단면도이다. 상기 공정단면도는 본 발명에 따른 유전체막이 적용되는 이동전극부 및 고정전극부의 빗살전극부분을 나타내기 위한 단면도이다.

&lt;70&gt;

도5a와 같이, 상부 및 하부 실리콘층(201,203)과 그 사이에 형성된 절연층(203)을 포함한 SOI기판을 마련한다. 일반적으로, 절연층은  $\text{SiO}_2$ 층이 사용될 수 있다.

<71> 이어, 도5b와 같이, 상기 상부 실리콘층(201)을 선택적 에칭을 수행함으로써 도3에 예시된 가변 광검출기에서 요구되는 마이크로 구조물을 형성한다. 이러한 마이크로 구조물로는, 제1 빔살부(221)를 구비한 이동전극부(미도시)과, 상기 제1 빔살부(221)에 연결된 광차단막(미도시)과, 상기 제1 빔살부(221)와 서로 맞물린 제2 빔살부(222)를 포함한 고정전극부(220a, 220b)를 포함할 수 있다. 본 선택적 에칭 공정은 포토리소그래피공정을 이용하여 구현될 수 있다.

<72> 다음으로, 도5c와 같이, 상기 절연층 중 적어도 상기 광차단막과 제1 빔살부(221)에 해당하는 마이크로 구조물의 하부에 위치한 부분을 제거한다. 상기 광차단막과 제1 빔살부는 이동가능한 구조로 형성되어야 하므로, 하부 실리콘층에 고정되지 않도록 해당 절연층을 제거한다. 도5c에 도시된 바와 같이 상기 제2 빔살부(231)도 제1 빔살부(221)와 인접하여 위치하므로, 공정의 편의를 위해 그 하부 절연층부분도 함께 제거될 수 있다. 하지만, 상기 제2 빔살부(231)에 연결된 다른 고정전극부(220b), 예를 들어 구동전극은 이동전극부의 접지전극과 함께 잔류한 산화물층(202')에 의해 하부실리콘층(203)에 고정된다.

<73> 이어, 도5d와 같이, 적어도 상기 이동전극부와 고정전극부에 해당하는 구조물의 표면에 금속막(241)을 도포하여 이동전극부 및 고정전극부를 형성한다. 도5d에는 제1 빔살부(231)와, 제2 빔살부(221)을 구비한 고정전극부(220a, 220b)에 해당하는 구조물만이 도

시되어 있으나, 도시되지 않은 이동전극부와 다른 고정전극부도 함께 금속막(241)이 도포되어, 전기적으로 전도성을 갖는 전극으로 형성된다.

<74>        끝으로, 상기 제1 빗살부(231)와 상기 제2 빗살부(221)의 대향하는 면 중 적어도 일측 면에 유전체막(245')을 형성한다. 본 실시예에서는 양측면에 형성되었으나, 본 발명은 이에 한정되지 않는다. 본 단계는, 유전체막이 요구되는 제1 및 제2 빗살부에만 선택적으로 증착하는 방식으로 구현할 수 있으나, 도5e 및 5f에 도시된 바와 같이, 마이크로 구조물 전체 영역, 즉 이동전극부 및 고정전극부의 상면 및 측면에 유전체막(245)을 도포한 후에, 상기 마이크로 구조물의 측면에 형성된 유전체막(245')만이 잔류하도록, 그 상면에 형성된 유전체막만을 제거하는 단계로 이루어질 수 있다. 상면에 형성된 유전체막을 제거하는 과정은 당업자에게 자명한 오버에칭공정을 채용하여 용이하게 구현될 수 있다. 이러한 간소한 공정을 통해 외부회로와 전기적 연결을 위한 고정전극부의 구동전극(220a, 220b) 및 이동전극의 접지전극(미도시)상면의 금속막을 노출시킬 수 있고, 각 빗살부에 측면의 유전체막을 잔류시킬 수 있다. 따라서, 도5f 및 5e에 도시된 공정에서는, 선택적 증착을 위한 포토리소그래피와 같은 복잡한 공정을 도입하지 않고도, 보다 간소하게 본 발명의 목적을 달성할 수 있다.

<75>        상술한 실시형태 및 첨부된 도면은 바람직한 실시형태의 예시에 불과하며, 본 발명은 첨부된 청구범위에 의해 한정하고자 한다. 또한, 본 발명은 청구범위에 기재된 본 발

명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 형태의 치환, 변형 및 변경이 가능하다는 것은 당 기술분야의 통상의 지식을 가진 자에게는 자명할 것이다.

#### 【발명의 효과】

<76> 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 가변 광감쇄기는 이동전극부와 고정전극부의 빗살전극부분의 대향하는 측면에 소정의 유전율을 갖는 유전체막을 증착함으로써 정전용량을 증가시켜 전압 대비 구동력을 향상시킬 수 있다. 따라서, 광감쇄량의 제어 신호에 대한 응답속도를 향상시킬 수 있으며, 전력소모를 최소화시킬 수 있으므로, 가변 광감쇄기의 제어회로를 보다 간소하게 구현할 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 가변 광감쇄기는, 유전체막의 절연성에 의해, 빗살 끝부분에서 발생하는 휨현상에 의해 발생하는 원하지 않는 단락을 방지하는 추가적인 잇점도 제공한다.

【특허청구범위】

【청구항 1】

전기적 제어신호에 따라 광량을 소정의 크기로 감쇄시키기 위한 MEMS 가변 광감쇄기에 있어서,

평탄한 상면을 갖는 기판;

상기 기판 상면에 서로 광축이 일치되도록 정렬된 광송신단과 광수신단;

상기 기판 상에 배치되어, 상기 광축에 대해 수직방향으로 이동가능하도록 형성된 제1 빔살부를 구비한 이동전극부;

상기 기판 상에 고정되어, 상기 제1 빔살부와 서로 맞물린 구조를 갖는 제2 빔살부를 포함한 고정전극부; 및,

상기 제1 빔살부에 전기적으로 연결되어, 상기 제1 빔살부의 이동에 따라 광송수신단 사이의 소정의 감쇄위치로 이동가능한 광차단막을 포함하며,

상기 제1 빔살부 및 제2 빔살부의 대향하는 측면 중 적어도 일면에 3이상의 유전율을 갖는 유전체막이 형성된 것을 특징으로 하는 MEMS 가변 광감쇄기.

【청구항 2】

제1항에 있어서,

상기 제1 및 제2 빔살부의 대향하는 양면 모두에 형성된 것을 특징으로 하는 MEMS 가변 광감쇄기.

【청구항 3】

제1항에 있어서,

상기 유전체막은 약 60% 이상의 스텝 커버리지로 증착될 수 있는 물질로 형성된 것을 특징으로 하는 MEMS 가변 광감쇄기.

【청구항 4】

제1항에 있어서,

상기 유전체막은  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$  및  $\text{TaON}$ 으로 구성된 그룹으로부터 선택된 물질로 이루어진 것을 특징으로 하는 MEMS 가변 광감쇄기.

【청구항 5】

제1항에 있어서,

상기 유전체막은 적어도 전기적 제어신호에 해당하는 전압에 대해 절연성을 가질 수 있는 두께로 형성된 것을 특징으로 하는 MEMS 가변 광감쇄기.

【청구항 6】

제5항에 있어서,

상기 유전체막은 적어도 약 10nm 두께인 것을 특징으로 하는 MEMS 가변 광감쇄기.

【청구항 7】

제1항에 있어서,

상기 유전체막은 적어도 약 10nm 두께의  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  막인 것을 특징으로 하는 MEMS 가변 광감쇄기.

【청구항 8】

상부 및 하부 실리콘층과 그 사이에 형성된 절연층을 포함한 SOI기판을 마련하는 단계;



상기 상부 실리콘층을 선택적 에칭을 하여, 제1 빔살부를 구비한 이동전극부과,  
상기 제1 빔살부에 연결된 광차단막과, 상기 제1 빔살부와 서로 맞물린 제2 빔살부를 포  
함한 고정전극부를 포함한 마이크로 구조물을 형성하는 단계;

상기 절연층 중 적어도 상기 광차단막과 제1 빔살부에 해당하는 마이크로 구조물의  
하부에 위치한 부분을 제거하는 단계;

적어도 상기 이동전극부와 고정전극부에 해당하는 마이크로 구조물의 표면에 금속  
막을 도포하여 이동전극부 및 고정전극부를 형성하는 단계; 및,

상기 제1 빔살부와 상기 제2 빔살부의 대향하는 측면 중 적어도 일면에 3이상의 유  
전율을 갖는 유전체막을 형성하는 단계를 포함하는 MEMS 가변 광감쇄기의 제조방법.

**【청구항 9】**

제8항에 있어서,

상기 유전체막을 형성하는 단계는,

상기 제1 빔살부와 상기 제2 빔살부의 대향하는 측면 모두에 유전체막을 형성하는  
단계인 것을 특징으로 하는 MEMS 가변 광감쇄기의 제조방법.

**【청구항 10】**

제8항에 있어서,

상기 유전체막은 약 60% 이상의 스텝 커버리지로 증착될 수 있는 물질로 형성되는  
것을 특징으로 하는 MEMS 가변 광감쇄기의 제조방법.

**【청구항 11】**

제8항에 있어서,

상기 유전체막은  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$  및  $\text{TaON}$ 으로 구성된 그룹으로부터 선택된 물질로 이루어진 것을 특징으로 하는 MEMS 가변 광감쇄기의 제조방법.

【청구항 12】

제8항에 있어서,

상기 유전체막은 적어도 전기적 제어신호에 해당하는 전압에 대해 절연성을 가질 수 있는 두께로 형성되는 것을 특징으로 하는 MEMS 가변 광감쇄기의 제조방법.

【청구항 13】

제12항에 있어서,

상기 유전체막은 적어도 약 10nm의 두께로 형성되는 것을 특징으로 하는 MEMS 가변 광감쇄기의 제조방법.

【청구항 14】

제8항에 있어서,

상기 유전체막은  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  물질을 이용하여 적어도 약 10nm 두께로 형성되는 것을 특징으로 하는 MEMS 가변 광감쇄기의 제조방법.

【청구항 15】

제8항에 있어서,

상기 유전체막을 형성하는 단계는,

상기 마이크로 구조물의 상면 및 측면에 유전체막을 형성하는 단계; 및

상기 마이크로 구조물의 상면에 형성된 유전체막을 제거하는 단계로 이루어진 것을 특징으로 하는 MEMS 가변 광감쇄기의 제조방법.

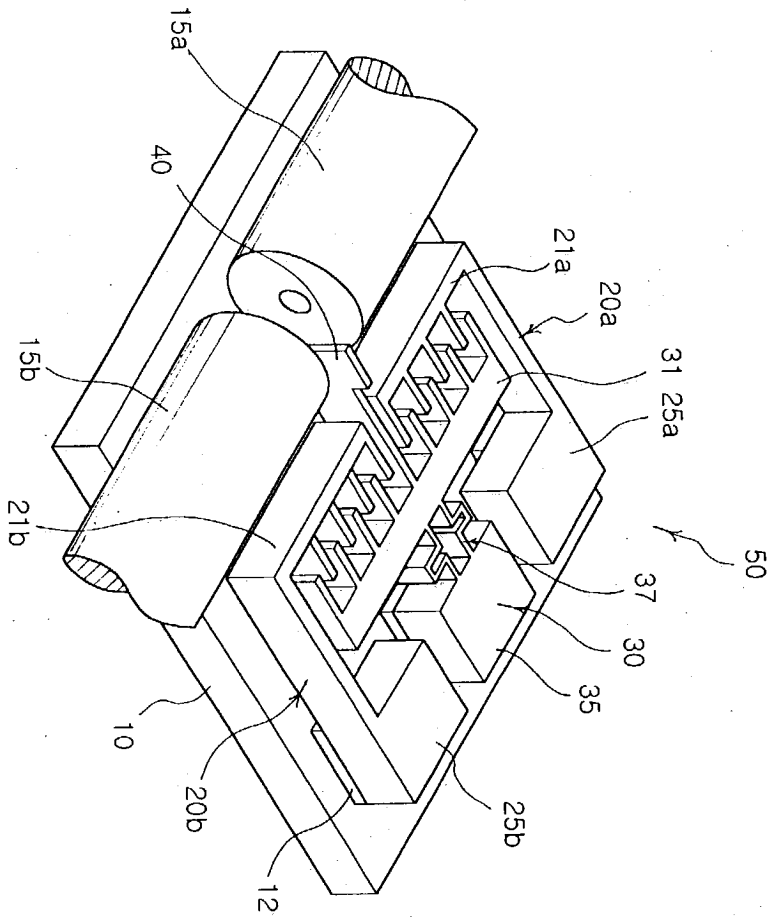
【청구항 16】

제1 빗살부를 구비한 이동전극부와, 상기 제1 빗살부와 서로 맞물린 제2 빗살부를 갖는 고정전극부를 갖는 마이크로 액츄에이터에 있어서,

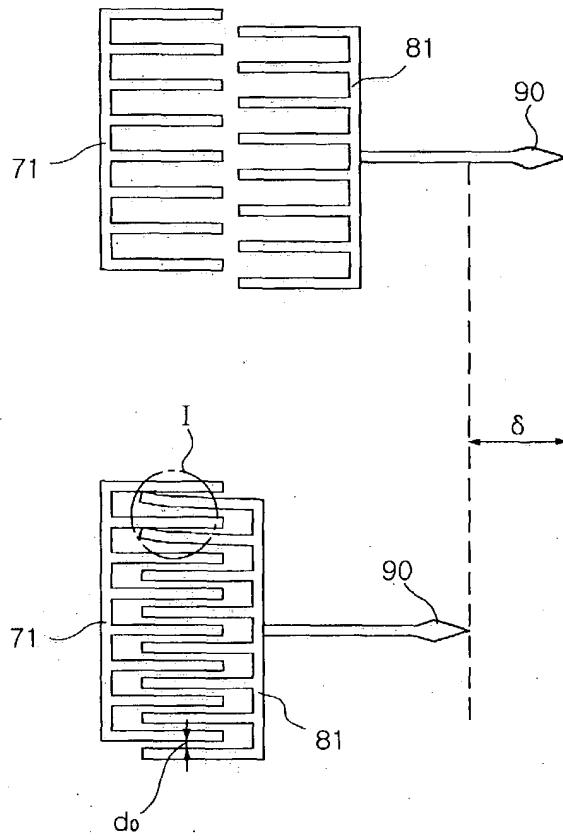
상기 제1 빗살부와 상기 제2 빗살부의 대향하는 측면 중 적어도 일면에 3이상의 유전율을 갖는 유전체막이 형성된 것을 특징으로 하는 마이크로 액츄에이터.

【도면】

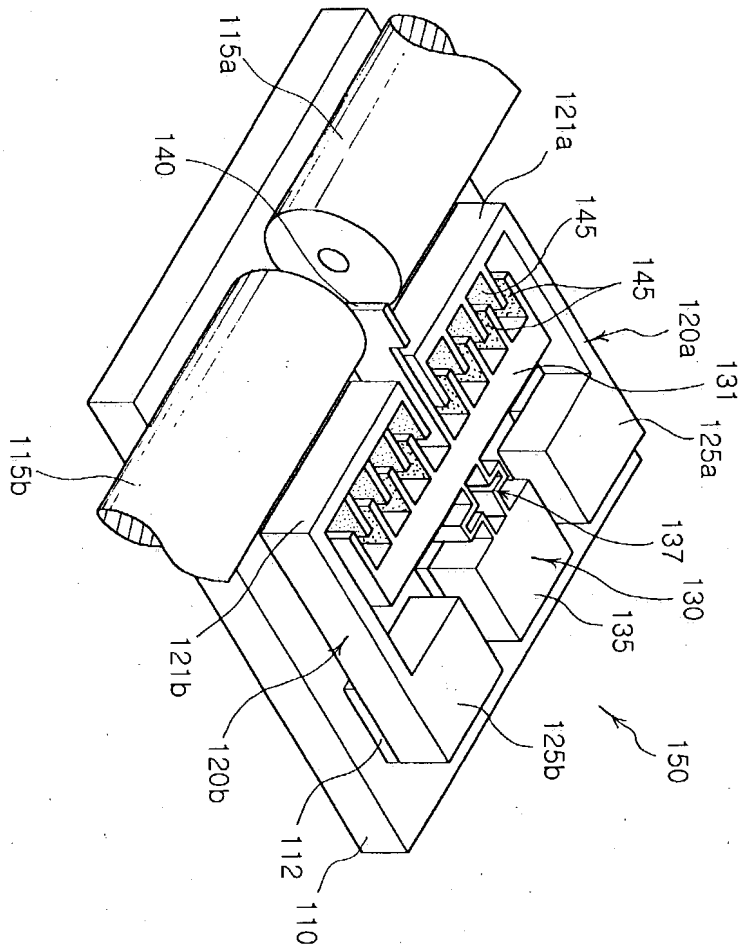
【도 1】



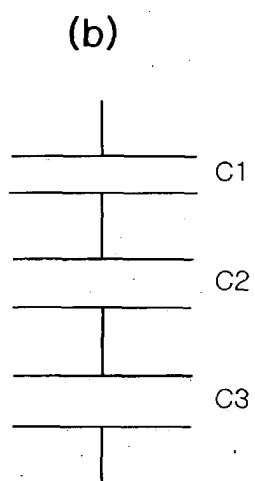
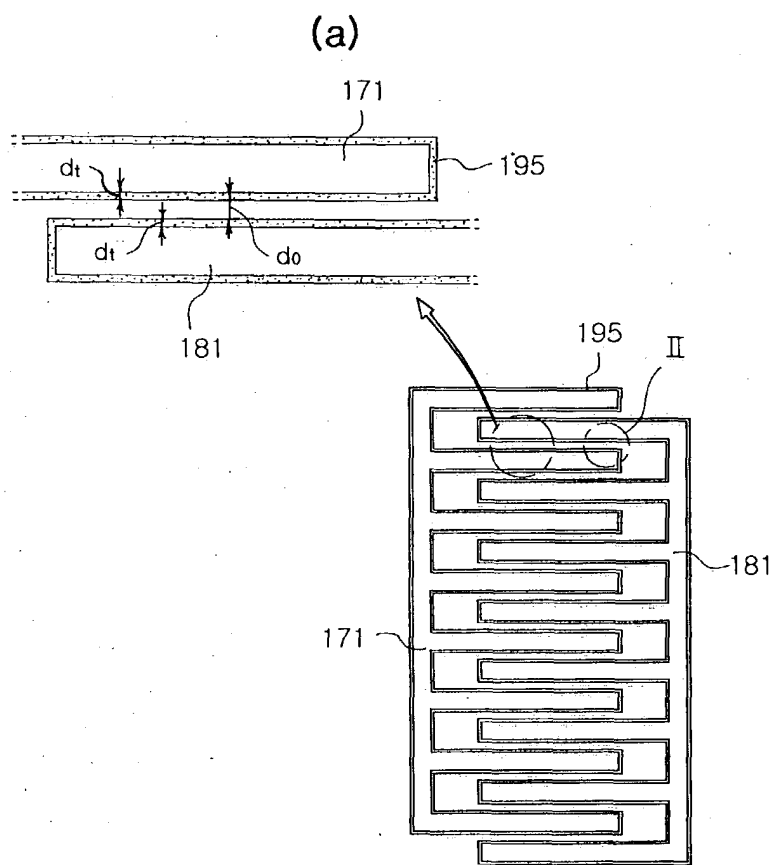
【도 2】



【도 3】



【도 4】



【도 5】

